



TITLE:

二次元振動平板上の微粒子挙動に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

小早川, 昔離野

CITATION:

小早川, 昔離野. 二次元振動平板上の微粒子挙動に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19015>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016/03/01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	小早川 昔離野
論文題目	二次元振動平板上の微粒子挙動に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、粒子の流動性を高めるために有効と考えられる二次元振動平板上の粒子挙動を解明することを目的として研究を行ったものであり、全 6 章から構成される。</p> <p>第 1 章は序論であり、振動流動現象の概要、工学的応用、および関連する基礎現象、すなわち壁面付着粒子の分離、粒子衝突の既往の研究を紹介している。また、本研究の目的と研究の位置づけを示している。特に、重力よりも流体抵抗や付着力が支配的になる微粒子を対象とした振動平板上の粒子挙動の解明が望まれていること、および現象の解明には粒子の運動を微視的に観察する必要があることを説明している。</p> <p>第 2 章では、粒子径 $0.5 \sim 500 \mu\text{m}$ の粒子を対象とし、水平方向と鉛直方向に振動を同期させた二次元振動平板上の粒子の跳躍運動を高速度カメラで観察した結果を報告している。粗粒子は一次粒子として鉛直方向に大きく跳躍するのに対し、微粒子は反発係数の小さい凝集粒子を形成し、微小な跳躍をすること、および水平方向では粗粒子は跳躍の進行方向が不定であるのに対し、凝集粒子は一定の方向に跳躍を繰り返すことを明らかにしている。この現象は、鉛直方向の入射速度の大きい粗粒子ほど、平板の振動位相に対してより等確率で衝突が起こるが、振動平板の速度に比べて粒子の速度が遅い微粒子では、下方および後方に動く平板との衝突確率は小さく、前方への跳躍の割合が多くなることに起因することを観察結果から得ている。さらに、確率モデルによる解析から、凝集粒子は下方および後方に動く平板との衝突確率が極めて小さいことを明らかにし、凝集粒子の平均移動速度が粗粒子の場合に比べて大きくなる理由を解明している。</p> <p>第 3 章では、第 2 章の観察結果を理論的に説明するために、重力、流体抵抗、粒子－平板間の反発および摩擦を考慮した力学モデルを構築し、粒子径および反発係数の異なる粒子の跳躍運動の数値計算を行っている。粒子の運動軌跡の計算結果は実験結果と良好に一致し、粒子の跳躍運動の支配因子を特定するとともに定量的解析を可能にしている。また、粒子の力学特性に基づく粒子挙動の違いを衝突時の振動位相と力積により解析し、反発係数が小さいとき、法線方向の粒子速度は小さくなるので下方および後方に動く平板との衝突確率は小さく、水平方向の速度を反転させるのに必要な力積も得にくいので、前方への跳躍のみ繰り返されることになり、平均移動速度が大きくなることを数値計算により明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、粒子と平板の分離挙動に着目し、微視的解析を行った結果、粒子は転がり運動を経て、分離にいたることを明らかにしている。また、粒子が回転し始めると、粒子－平板間の付着力が大きく減少し、その直後の平板の上昇運動において十分な外力が得られるので、粒子の分離・跳躍が可能になることを粒子の軌跡と平板の振動加速度の関係か</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	小早川 昔離野
<p>ら見出している。さらに、力のモーメントバランスによる理論解析および粒子－平板の分離率の測定結果から、粒子の回転運動は平板の鉛直加速度よりも水平加速度に大きく依存し、比較的小さい水平加速度でも、粒子の分離率を効果的に高められることを見出している。すなわち、二次元振動が壁面付着粒子の分離に有効であることを明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、粒子と平板の衝突挙動に着目して、微視的解析を行った結果を報告している。粒子径 20～300 μm の粒子を対象として、衝突前後の速度変化に及ぼす粒子径の依存性を定量的に示している。平板近傍における流体抵抗の増加、すなわち壁効果を考慮した衝突速度の数値計算を行い、実験値と比較した結果、良好に一致することを示している。また、微粒子は、粒子の慣性力に対して壁効果を含めた流体抵抗と付着力の相対的な増加によって粒子速度が著しく低下することを明らかにしている。さらに、衝突速度と粒子密度を変化させた実験によって、反発係数はストークス数の減少にともなって小さくなることを検証している。</p> <p>第 6 章は結論であり、本研究により得られた成果、知見を要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、粒子の流動性を高めるために有効と考えられる二次元振動平板上の粒子挙動について研究した成果をままとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 粒子径 $0.5 \sim 500 \mu\text{m}$ の粒子を対象とし、水平方向と鉛直方向に振動を同期させた二次元振動平板上の粒子の跳躍運動を高速度カメラで観察した結果、粗粒子は一次粒子として大きく跳躍するのに対し、微粒子は反発係数の小さい凝集粒子を形成し、微小な跳躍をすること、および粗粒子は跳躍の進行方向が不定であるのに対し、凝集粒子は一定方向に跳躍を繰り返すことを明らかにした。また、凝集粒子の平均移動速度は粗粒子と比べて大きくなることを見出した。

2. 重力、流体抵抗、粒子－平板間の反発および摩擦を考慮した力学モデルを構築し、粒子径および反発係数の異なる粒子の跳躍運動を数値計算した。計算結果は実験結果と良好に一致し、粒子の跳躍運動の支配因子を特定するとともに定量的解析を可能にした。また、衝突時の平板の振動位相と粒子が受ける力積を解析した結果、粒子の力学特性に基づく粒子挙動の違いを説明できた。

3. 粒子と平板の分離挙動に着目し、微視的解析を行った結果、粒子は転がり運動を経て、分離にいたることを明らかにした。また、粒子が回転し始めると、粒子－平板間の付着力が大きく減少し、その直後の平板の上昇運動において十分な外力が得られるので、粒子の分離・跳躍が可能になることを粒子の軌跡と平板の振動加速度の関係から見出した。さらに、力のモーメントバランスによる理論解析および粒子－平板の分離率の測定結果から、粒子の回転運動は平板の鉛直加速度よりも水平加速度に大きく依存し、比較的小さい水平加速度でも、粒子の分離率を効果的に高められることを見出した。

4. 粒子と平板の衝突挙動に着目して、微視的解析を行った結果、粒子の衝突前後の速度変化に及ぼす粒子径の依存性を定量的に示した。また、微粒子は、粒子の慣性力に対して壁効果を含めた流体抵抗と付着力の相対的な増加によって粒子速度が著しく低下することを明らかにした。さらに、衝突速度と粒子密度を変化させた実験によって、反発係数はストークス数の減少にともなって小さくなることを検証した。

以上、本論文は二次元振動平板上の微粒子の挙動において基礎的知見を与えるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 2 月 23 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。